

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
чл.-кор. НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of the Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Дінжос Роман Володимирович

*доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи
Чорноморський національний університет імені Петра Могили*

Dinzhos Roman

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for scientific work
Petro Mohyla Black Sea National University*

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Meranova Nataliia

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Полозенко Ніна Петрівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Polozenko Nina

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Ольховська Ніна Миколаївна

науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Olkhovska Nina

Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Юрчук Володимир Леонідович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Yurchuk Volodymyr

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Овчаренко Анатолій Володимирович

кандидат фізико-математичних наук,

доцент кафедри фізики та математики

Миколаївський національний університет ім. В.О. Сухомлинського

Ovcharenko Anatoliy

PhD, Associate Professor of the Physics and Mathematics Departmen

Mykolaiv National University named after Sukhomlinsky

Малецька Ольга Євгенівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Maletska Olha

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ТЕМПЕРАТУРНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ГУСТИНИ ПОЛІМЕРНИХ МІКРО-
І НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДУ 6
TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE DENSITY OF POLYMER
MICRO- AND NANOCOMPOSITES BASED ON POLYAMIDE 6**

***Анотація.** Наведено дані експериментальних досліджень зміни з температурою густини полімерних мікро- і нанокомпозитів на основі поліаміду 6, наповненого вуглецевими нанотрубками, мікрочастинками алюмінію і міді. Проаналізовано вплив методів одержання нанокомпозитів на їх густину.*

***Ключові слова:** густина полімерних нанокомпозитів, поліамід, вуглецеві нанотрубки, наповнювачі нанокомпозитів.*

***Summary.** The data of experimental studies of the change in the density of polymer micro- and nanocomposites based on polyamide 6 filled with carbon nanotubes, aluminum and copper microparticles with temperature are presented. The influence of the methods for obtaining nanocomposites on their density is analyzed.*

***Key words:** density of polymer nanocomposites, polyamide, carbon nanotubes, nanocomposite fillers.*

Вступ. До перспективних областей застосування полімерних мікро- і нанокомпозитів відноситься виготовлення теплообмінних поверхонь теплоенергетичних установок. Використання матеріалів даного класу покликане забезпечити підвищення довговічності та надійності установок,

зниження їх масогабаритних характеристик. З огляду на це дослідження густини полімерних мікро-і нанокомпозитів має велике значення для отримання даних матеріалів. Особливої уваги заслуговує аналіз впливу методів одержання полімерних композиційних матеріалів на їх густину.

Аналіз літературних даних. Дослідженню різних характеристик полімерних мікро- і нанокомпозитів присвячено низку робіт [1-16]. Певна увага приділялася аналізу густини полімерних композитів. Так, в роботах [1-3] було досліджено залежність густини ρ полімерних композитів на основі полікарбонату, наповнених мікрочастинками алюмінію, від температури і частки наповнювача. Показано, що густина цих композитів залежить від температури і незначно підвищується зі збільшенням частки наповнювачів, однак є нижчою порівняно з традиційними матеріалами. Матеріаломісткість теплообмінників, виготовлених з нанокомпозитів, нижче ідентичних за розмірами теплообмінників з нержавіючої сталі в 6-8 разів. Відмічається також, що полімерний композит на основі полікарбонату, наповненого алюмінієм, має підвищену корозійну стійкість, що зумовлено як антикорозійними властивостями полімерної матриці, так і високою стійкістю до корозії наповнювача.

Дослідженню залежності густини нанокомпозита від протяжності процесу змішування компонентів в розплаві полімеру і його температури присвячено роботу [4]. Показано, що густина композиту зменшується з ростом температури розплаву полімера, і темп її зменшення зберігається для всіх значень швидкості змішування.

В роботі [5] досліджено залежності густини полімерних композитів на основі поліпропілену, наповненого вуглецевими нанотрубками, від рівня перегріву розплаву полімеру відносно температури його плавлення. Результати досліджень показали, що густина полімерних композитів падає з ростом їх температури при всіх значеннях перегріву полімеру.

Огляд літературних джерел свідчить також про те, що значний інтерес становлять дослідження закономірностей впливу на густину полімерних нанокомпозитів методи їх одержання.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є встановлення за даними експериментальних досліджень ефектів впливу методів одержання полімерних мікро- і нанокомпозитів на їх густину.

Результати виконаних досліджень. В роботі досліджуються полімерні мікро-і нанокомпозити на основі поліаміду 6, наповненого вуглецевими нанотрубками (ВНТ), мікрочастинками алюмінію і міді, при різних методах їх одержання.

Розглядаються два методи синтезу полімерних композитів. Перший з них базується на змішуванні компонентів у сухому вигляді з використанням магнітної мішалки і ультразвукового диспергатора при подальшому гарячому пресуванні отриманої композиції. У другому методі змішування компонентів відбувається в розплаві полімеру із застосуванням дискового екструдера при подальшому наданні композиту необхідної форми методом гарячого пресування.

Густина полімерних нанокомпозитів досліджувалась в інтервалі температур від 320 до 525 К. Для визначення густини досліджуваних матеріалів застосовувався метод гідростатичного зважування.

В табл.1 (на рис.1) представлена залежність від температури густини досліджуваних композитів, отриманих двома методами. Як видно, характер цієї залежності для всіх ситуацій має загальні особливості. Густина композитів знижується з температурою, зазнаючи різкої зміни в області температури плавлення полімеру. При цьому, в усьому аналізованому температурному діапазоні густина трьох розглянутих композитів є дещо вищою у разі другого методу їх отримання. Найбільші розбіжності значень густини досліджуваних матеріалів при використанні різних методів їх одержання спостерігаються для композитів, наповнених ВНТ, а найменші –

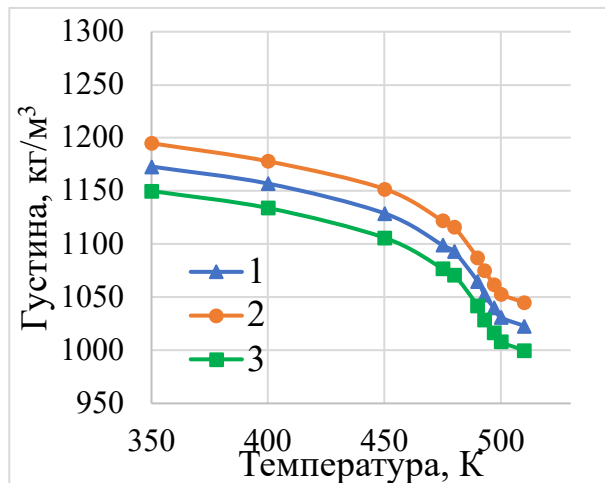
мікрочастинками алюмінію. Причому ці розбіжності несуттєво змінюються з температурою.

Таблиця 1

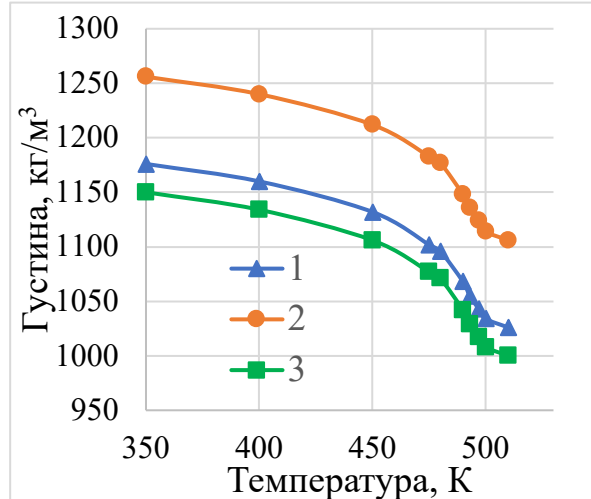
Температурна залежність густини поліаміду 6 (матриця) та полімерних композитів на його основі, наповнених алюмінієм, міддю і вуглецевими нанотрубками при їх отриманні методами сухого змішування (метод 1) і у розплаві полімеру (метод 2)

		Температура, К									
		350	400	50	475	480	490	493	497	500	510
Поліамід 6 (матриця)		1150	1134	1106	1077	1071	1042	1029	1017	1008	1000
Наповнювач	Метод										
Алюміній	1	1169	1153	1126	1097	1091	1062	1049	1037	1028	1019
	2	1191	1174	1147	1118	1112	1083	1070	1058	1049	1040
Мідь	1	1173	1157	1129	1099	1093	1065	1052	1040	1031	1023
	2	1195	1178	1152	1122	1116	1087	1075	1062	1053	1045
ВНТ	1	1176	1160	1132	1102	1096	1068	1055	1043	1034	1026
	2	1256	1240	1212	1183	1177	1148	1136	1124	1114	1106

Стосовно характеру співвідношення густини композитів при використанні різних наповнювачів, то в цілому для обох методів їх отримання найбільшу густину мають композити, наповнені ВНТ, меншу – частинками міді, і найменшу – частинками алюмінію. Хоча густина власне наповнювачів ранжується в іншому порядку. А саме, густина міді становить 8900 кг/м^3 ; алюмінію – 2700 кг/м^3 , а ВНТ – 2200 кг/м^3 . Зазначений характер співвідношення густини композитів пояснюється тим, що механізми їх формування більш суттєво впливають на густину композитів, ніж власне густина наповнювачів.



а)



б)

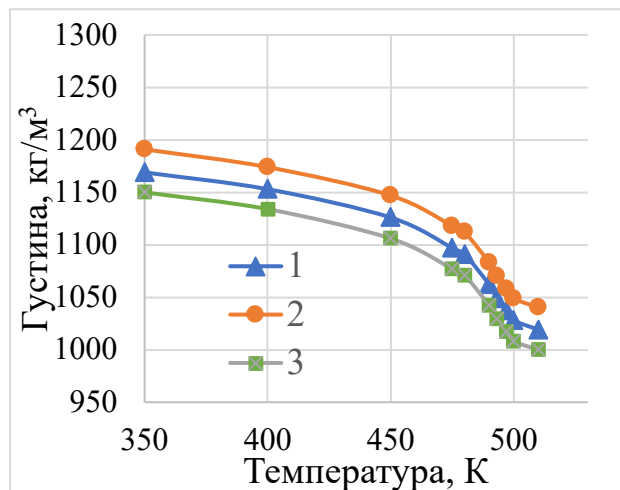


Рис. 1. Температурна залежність густини полімерних композитів на основі поліаміду 6, наповненого мікрочастинками алюмінію (а), вуглецевими нанотрубками (б) та мікрочастинками міді, (в) при різних методах їх одержання: 1 – метод 1; 2 – метод 2; 3 – густина матриці-поліаміду 6.

в)

Згідно з отриманими даними, вплив методу отримання композитів на їх густину в кількісному відношенні невеликий. Так, для композитів, наповнених ВНТ, застосування другого з розглянутих методів призводить до підвищення їх густини не більше ніж на 7,8%.

Висновки.

1. Встановлено, що вплив методів одержання досліджуваних композитів та температури на зміну густини композиту незначний. При цьому відповідні розбіжності значень густини досліджуваних полімерних мікро- і нанокомпозитів несуттєво змінюються з температурою.

2. Густина композитів, що розглядаються, виявляється дещо вищою при застосуванні другого методу їх одержання в усьому досліджуваному температурному діапазоні; співвідношення густини різних композитів відрізняються від співвідношення густини їхніх наповнювачів, що пояснюється більш суттєвим впливом на густину композиційних матеріалів механізмів їх формування у порівнянні з густиною наповнювачів.

Література

1. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н. О. та ін. Екзотерми кристалізації для полімерних залежності теплоємності та густини нанокompозитів на основі полікарбонату. *МНЖ «Інтернаука»*. 2022. № 7. С. 65-69. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-7-8079>.

2. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В. Влияние времени смешения компонентов в расплаве полимера на плотность нанокompозитов. *11th International scientific and practical conference "Science, innovations and education: problems and prospects"* (June 1-3, 2022). Tokyo, Japan, 2022. P. 358-364.

3. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г. Шеренковский Ю.В. а ін. Закономерности влияния на плотность полимерных нанокompозитов температурного режима их получения. *МНЖ «Інтернаука»*. 2021. № 13. С. 75-79. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-13-7530>.

4. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О. та ін. Дослідження залежності густини нанокompозитів від тривалості змішування компонентів у розплаві полімеру. *МНЖ «Інтернаука»*. 2022. № 6 (125). С. 56-59. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-6-8045>.

5. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Меранова Н.О. Залежність густини нанокompозитів від величини перегріву розплаву полімеру. *2nd International scientific and practical conference "Modern science:*

innovations and prospects” (November 7-9, 2021). Stockholm, Sweden, 2021. P. 323-327.

6. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Кліщ А.В. та ін. Теплопровідні властивості полімерних мікро- і нанокомпозитів для теплообмінних поверхонь. *МНЖ "Інтернаука"*. 2020. № 7 (87), 1 т. С. 42-46.

7. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В., та ін. Теплота кристалізації полімерних мікро-і нанокомпозиційних матеріалів для теплоенергетичного устаткування. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. № 5. С. 26-27.

8. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В. та ін. Створення низькотеплопровідних полімерних нанокомпозитів для внутрішніх газовідвідних стволів димових труб котелень. *Енергетика і автоматика*. 2020. № 5. С. 57-68.

9. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Кліщ А.В., Хміль Д.П. Дослідження залежності теплофізичних властивостей полімерних мікро-і нанокомпозитів від методу їх синтезу. *МНЖ «Інтернаука»*. 2019. № 12(74). С.55-58.

10. Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Навродская Р.А. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпозитов на основе полиэтилена при различных методах их получения. *Промышленная теплотехника*. 2017. № 4, т. 39. С. 21-26.

11. Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О. Влияние уровня перегрева расплава полимеров на теплофизические свойства нанокомпозитов. *5th International scientific and practical conference "Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects"*. October 24-26, 2021). Berlin, Germany, 2021. P. 230-231.

12. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Прокопов В.Г. та ін. Дослідження структуроутворення полімерних нанокомпозитів на основі поліаміду 6 при його наповненні наночастинками діоксиду кремнію. 2024. № 8. С. 83-88. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2024-8-10182>.

13. Fialko N.M., Dinzhos R.V., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O, Navrodska R.O. Features of structure formation of dispersively filled with microcomposites with a polypropylene matrix. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2020. Vol 89, No 2. P. 91-98. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.211384>.

14. Fialko N., Meranova N., Sherenkovskii J., Navrodska R., etc. Establishing patterns in the structure formation of polymer nanocomposites based on polyamide 6 during their crystallization processes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. 3(12 (129). P. 62-68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306965>.

15. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., та ін. Особливості кристалізації полімерних композитів, наповнених мікрочастинками алюмінію. *МНЖ "Інтернаука"*. 2022. № 8(127). С. 61-65. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-8-8110>.

16. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Прокопов В.Г. та ін. Аналіз експериментальних екзотерм кристалізації полімерних нанокомпозитів «поліамід 6-діоксид кремнію». *МНЖ «Інтернаука»*. 2024. № 8 (163). С.89-94. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2024-8-10182>.